

9

# KIELER MEERESFORSCHUNGEN

Institut für Meereskunde der Universität Kiel

Herausgegeben von G. DIETRICH

unter Mitwirkung von

A. REMANE und E. SCHULZ (Zoologisches Institut),  
F. DEFANT, F. GESSNER, K. KÄNDLER, W. KRAUSS, J. KREY,  
C. SCHLIEPER und G. WÜST (Institut für Meereskunde)

---

Band XX

1964

Heft 2

---

Sonderdruck S. 124—129

Eine Methode zur langzeitigen Messung der Temperatur  
in den Randgebieten der Ozeane

Von GEROLD SIEDLER

---

Kommissionsverlag Walter G. Muhlau, Kiel

## Eine Methode zur langzeitigen Messung der Temperatur in den Randgebieten der Ozeane

Von GEROLD SIEDLER

**Zusammenfassung:** Zur Messung der Temperatur in Gebieten des Meeres mit starken Schwankungen der Schichtung wurde ein Meßverfahren entwickelt, das eine langzeitige Registrierung in einem verankerten Meßgerät erlaubt. Die Messung erfolgt über einen Thermistor in einer Wheatstone-Brücke, die Registrierung auf einem Fallbügelschreiber, die Steuerung über eine elektrische Uhr und Relaischaltungen. Der Bereich umfaßt bei dem gebauten Gerät  $-2^{\circ}$  bis  $+31^{\circ}$  C, die maximal erreichbare Genauigkeit beträgt  $\pm 0,1^{\circ}$  C, als Betriebsdauer können bei einem Meßintervall von 5 Minuten ein Zeitraum von 50 Tagen, bei größeren Meßintervallen entsprechend höhere Zeiten erwartet werden. Eine Druckmessung zur Tiefenbestimmung und Eichungen der Anordnung erfolgen automatisch nach jeweils 21 Temperaturmessungen. Es werden das Meßgerät und die Laboratoriumstests sowie das Eichverfahren beschrieben, ferner werden Messungen mit dieser Methode in der Ostsee angegeben.

**A method of recording temperature in marginal regions of the ocean (Summary):** To study temperature variations in regions showing great changes in time in the ocean, a self-contained recording instrument is needed which can be anchored in the sea. The following requirements to be fulfilled by such a method were found necessary:

1. Time of recording: 2 to 4 weeks or several months, depending on the oceanographic problem involved.
2. Temperature range: In most cases not more than  $2$  to  $5^{\circ}$  C temperature variation with measurements lasting some weeks, within a total range of  $-2$  to  $+30^{\circ}$  C
3. Accuracy: About  $\pm 0,1^{\circ}$  C.
4. Depth of Instrument: Mostly less than 1000 m, sometimes more than this.
5. Time response of temperature measurement: Corresponding with measuring interval.

As no available system was found acceptable, a new "thermograph" was developed at the Institut für Meereskunde, Kiel.

Temperature is measured by a thermistor being part of a Wheatstone-Bridge. The bridge can be adjusted by a step-switch to give a certain D.C. voltage for the range  $-2$  to  $+31^{\circ}$  C ( $\ddot{U}$ ) or 10 sub-ranges  $-2$  to  $+4$ ,  $+1$  to  $+7$ , ...,  $+25$  to  $+31^{\circ}$  C (1 to 10). This voltage passes a differential amplifier and is then used to record temperature on a small stripchart recorder. After 21 points representing temperature 2 calibration points and 1 pressure point is printed. This is achieved by switching the bridge from the thermistor to two fixed resistors and a potentiometer connected to a Bourdon tube. The unit is controlled by an electrical sequence timer and some relay circuits. Fig. 1 shows the block diagram and fig. 2 the circuits in detail. On figs. 3, 4 and 5 the interior of the instrument and its housing can be seen. On fig. 7 drawings of some different thermistor housings indicate the possibility of finding the adequate thermal time constant of the thermometer. When using a 5-minutes sequence of measurements, temperature can be recorded up to 50 days. By changing the sequence timer to a longer time interval of switching, the measuring period may be increased, respectively. Laboratory tests and calibration methods are described. Fig. 6 shows a test recording received during summer 1964 in 5 m depth in the Western Baltic.

### Das Meßproblem

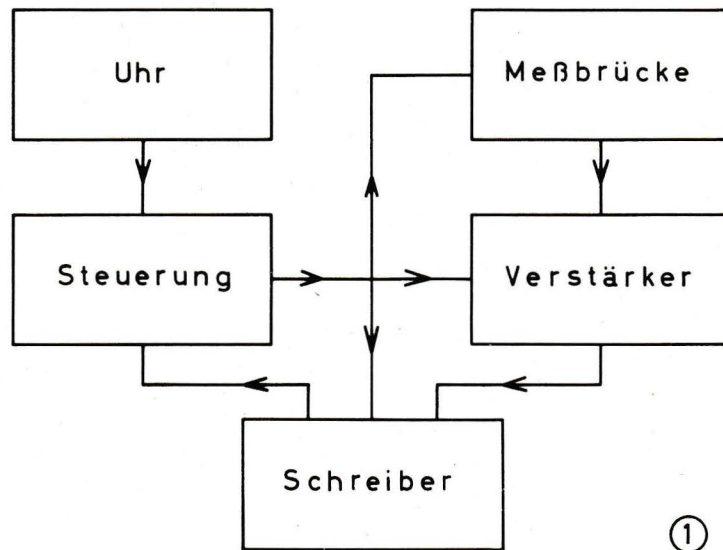
Es ist bekannt, daß für physikalische Messungen im Meere je nach Seegebiet verschiedene Meßmethoden verwendet werden müssen, um die Forderungen nach Meßbereich

---

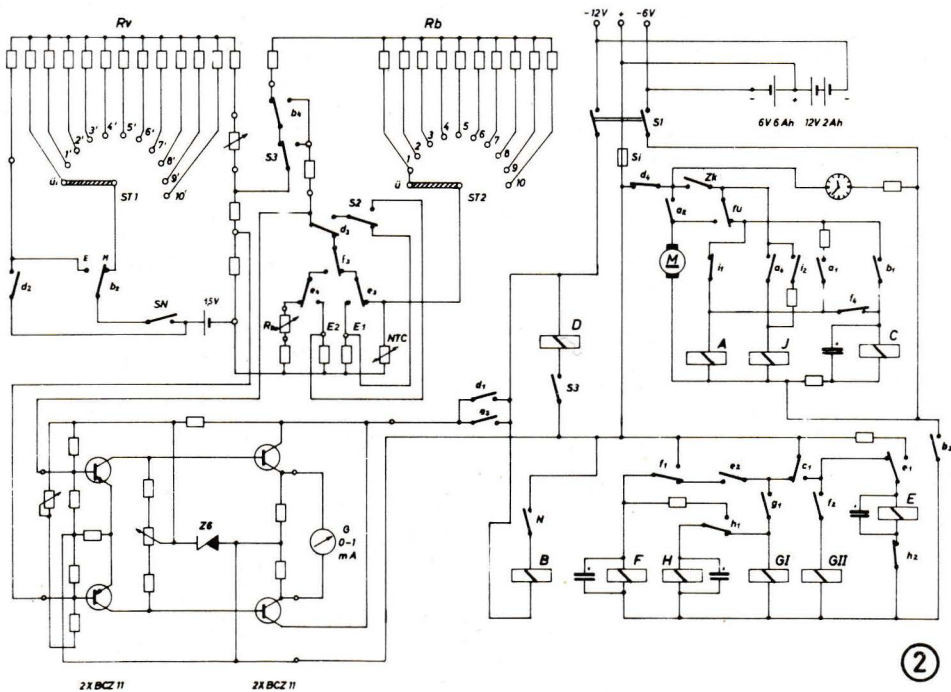
Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 1)

Abb. 1. Blockschaltbild des auslegbaren Thermographen

Abb. 2. Schaltbild des auslegbaren Thermographen

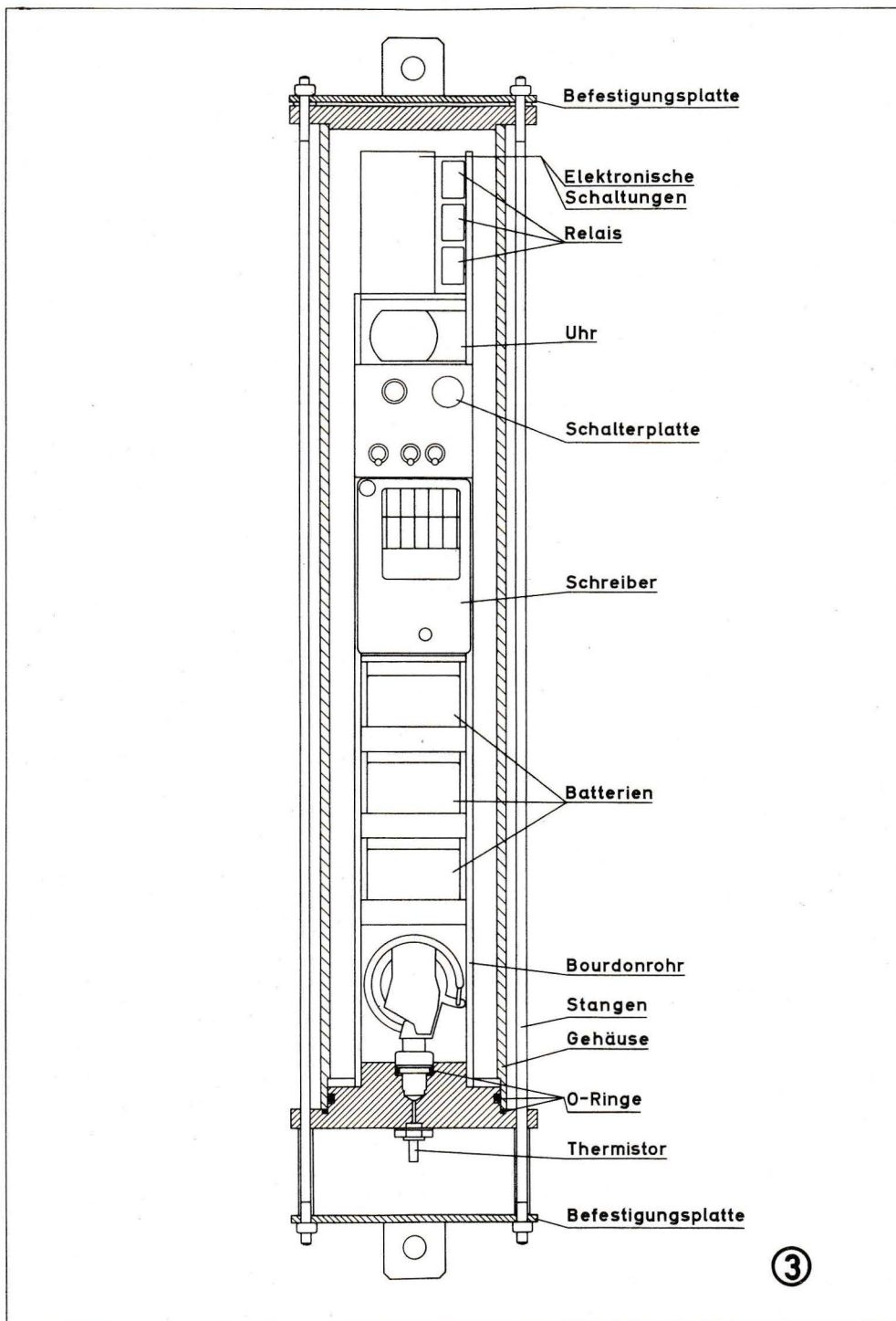


①



②

Tafel 1 (zu G. Siedler)



Tafel 2 (zu G. Siedler)



und -genauigkeit sowie nach möglichst einfachem und sicherem Arbeitsverfahren zu erfüllen. Trotzdem bedarf es einer Erläuterung, warum die Notwendigkeit bestand, ein spezielles Verfahren zur Messung der Temperatur in den Randgebieten der Ozeane zu entwickeln. Unter den Randgebieten wollen wir die Meeresbereiche verstehen, deren Schichtung und Zirkulation durch direkten Einfluß der Berandung des Ozeans relativ großen räumlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen sind. Gerade mit diesen Gebieten befassen sich eine Vielzahl von Untersuchungen, um z. B. Ausbreitungs- und Vermischungsvorgänge des aus Nebenmeeren oder Flüssen einströmenden Wassers zu klären oder um die Bedeutung der Gestalt von Küste und benachbartem Meeresboden auf die Strömungsverhältnisse kennenzulernen. Der Abstand der Grenze zwischen freiem Ozean und den so festgelegten Randgebieten von der Küste ist regional sehr unterschiedlich groß. Die physikalischen Prozesse in diesen Gebieten lassen sich naturgemäß nicht durch Einzelmessungen, sondern nur durch langfristig durchgeführte Meßreihen erfassen, die verankerbare Meßgeräte erfordern.

Für die Messung der Dichte und der damit verknüpften Größen der Temperatur, des Gehaltes an gelösten und suspendierten Stoffen und der Schallgeschwindigkeit sind, wenn man von einigen Anordnungen für oberflächennahe Temperaturmessungen absieht, kaum Verfahren bekannt geworden, während für die Messung von Stromstärke und -richtung und von Wasserstandsschwankungen verschiedene Anordnungen entwickelt wurden. Zur Temperaturmessung wurde die ursprünglich nur als Korrekturwert ermittelte Temperaturanzeige bei Hochseepegeln (GEISSLER 1941, JOSEPH 1960, WEIDEMANN 1963) verwendet, ferner ist eine Versuchsanordnung von GAUNT (1963) bekannt, die eine Temperaturmessung mit ausgelegten Geräten über längere Zeit erreichen läßt. Bedeutung für die Untersuchung vor allem in Binnenmeeren hat ferner ein amerikanisches Gerät erlangt (FARLOW 1964). Alle diese Verfahren erscheinen im gegenwärtigen Entwicklungsstadium nur sehr bedingt für die genannte Aufgabenstellung geeignet.

Im folgenden sollen die wesentlichsten Forderungen, die an ein Verfahren zur Temperaturmessung in den Randgebieten der Ozeane zu stellen sind, aufgeführt werden:

1. Meßdauer: Für die Untersuchung von Schwankungen über einige Stunden bzw. Tage sind Mindestgesamtmesszeiten von 2—4 Wochen erforderlich, während für das Studium jahreszeitlicher Änderungen Registrierdauerzeiten von einigen Monaten bis zu einem Jahr und entsprechende Wiederholungen benötigt werden.

2. Meßbereich: Bei Untersuchungen über einige Wochen sind Schwankungen der Temperatur von einigen Zehntel °C bis maximal 2°—5° C zu erwarten, wenn man von einigen Gebieten mit extrem großen vertikalen Temperaturgradienten, wie sie z. B. im Sommer in der Ostsee auftreten, absieht. Bei längerer Meßdauer können die Temperaturdifferenzen größer werden. Der Ausgangswert liegt je nach Ort und Zeit der Messung zwischen — 2° und 30° C.

3. Meßgenauigkeit: In den meisten Fällen genügt etwa  $\pm 0,1^\circ \text{C}$ , da für die genannten Untersuchungen Schwankungen der Temperatur meist erheblich größer als  $0,1^\circ \text{C}$  sind.

4. Meßtiefe: Im allgemeinen genügt wegen der geringen Meerestiefe in den Randgebieten eine maximale Meßtiefe von ca. 1000 m, in Einzelfällen können jedoch größere Tiefen gefordert sein.

---

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 2)

Abb. 3. Konstruktionszeichnung des Gerätes.

5. Trägheit des Thermometers: Die Anpassungszeit darf nicht länger als der Meßabstand, soll aber auch nicht wesentlich kürzer sein als dieser, um über das Meßintervall zu mitteln.

Da kein vollständig entwickeltes Meßverfahren vorlag, das die genannten Forderungen erfüllte, wurde im Institut für Meereskunde der Universität Kiel eine Anordnung entwickelt, die auf diese Bedingungen abgestimmt ist. Dabei wurde zusätzlich berücksichtigt, daß ein auslegbarer Thermograph in einer Kette von Geräten, die übereinander angeordnet sind, verankert werden kann, und daß zur Bestimmung der wahren Tiefe des Meßortes eine Druckmessung möglich sein sollte. Ferner sollte ein Registrierverfahren benutzt werden, das eine schnelle, aber ohne großen apparativen Aufwand durchführbare Auswertung gestattet.

### Das Meßgerät

Die Temperaturmessung erfolgt auf elektrischem Wege. Um die zugehörige elektronische Schaltung möglichst einfach halten zu können, wurde als Meßelement mit großem Temperaturkoeffizienten ein Thermistor verwendet. Ferner wurde ein Bourdonrohr mit Potentiometer vorgesehen, um eine Druckmessung ohne zusätzliche elektronische Schaltungen zu erhalten.

Abb. 1 zeigt das Prinzipschaltbild. Die Messung der Temperatur erfolgt in einer Gleichspannungs-Wheatstone-Brücke. Die Spannung im Querzweig der Brücke wird über einen Differenzverstärker zur Aussteuerung eines Drehspulgalvanometers benutzt, das Teil eines Fallbügelschreibers ist. Die Steuerung der gesamten Anordnung erfolgt über eine elektrische Uhr, die in bestimmtem Zeitabstand einen Umschalter betätigt. Dadurch erhält die elektronische Schaltung ihre Speisespannung, und die Arbeitspunkte stellen sich ein. Gleichzeitig startet der Papiertransport, und nach 1 Sekunde wird der Fallbügel betätigt. Damit erscheint ein Punkt auf dem Wachspapier der Schreiberrolle. Sofort anschließend wird die Batteriespannung abgeschaltet.

Dieser Zyklus läuft zwanzigmal ab, beim darauf folgenden Schaltkontakt der Uhr werden nacheinander zwei Eichwiderstände, das Potentiometer des Bourdonrohres und zuletzt wieder der Thermistor in die Wheatstone-Brücke eingeschaltet. Damit erhält man Eichpunkte zur Kontrolle der Konstanz der Brückenspeisespannung und des Verstärkungsgrades des Differenzverstärkers. Auf diese Reihe von 4 Punkten folgen wieder 20 Temperatur-Punkte.

Abb. 2 zeigt das vollständige Schaltbild. Links oben erkennt man die Meßbrücke. Um eine Genauigkeit von  $\pm 0,1^\circ \text{C}$  zu erhalten, ist eine Unterteilung des gesamten Temperaturbereichs in mehrere Unterbereiche durchgeführt. Jeder Unterbereich umfaßt ca.  $6^\circ \text{C}$  und überlappt seine Nachbarbereiche jeweils zur Hälfte. Für Übersichtsmessungen ist ein Bereich vorgesehen, der von  $-2$  bis  $+31^\circ \text{C}$  reicht. Insgesamt sind 11 einschaltbare Brückenwiderstände  $R_B$  vorhanden. Um für jeden Bereich eine gleich große Maximalspannung im Querzweig der Wheatstone-Brücke zu erhalten, muß die Spannung zur Speisung der Brücke wegen der nichtlinearen Kennlinie des Thermistors und wegen der unterschiedlich großen Temperaturschwankung im Übersichtsbereich  $\bar{U}$  und in den Einzelbereichen 1—10 durch umschaltbare Vorwiderstände  $R_V$  herabgesetzt werden. In der Brücke erkennt man neben dem Thermistor NTC die beiden

---

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 3)

Abb. 4. Innenansicht des Gerätes

Abb. 5. Außenansicht des Gerätes



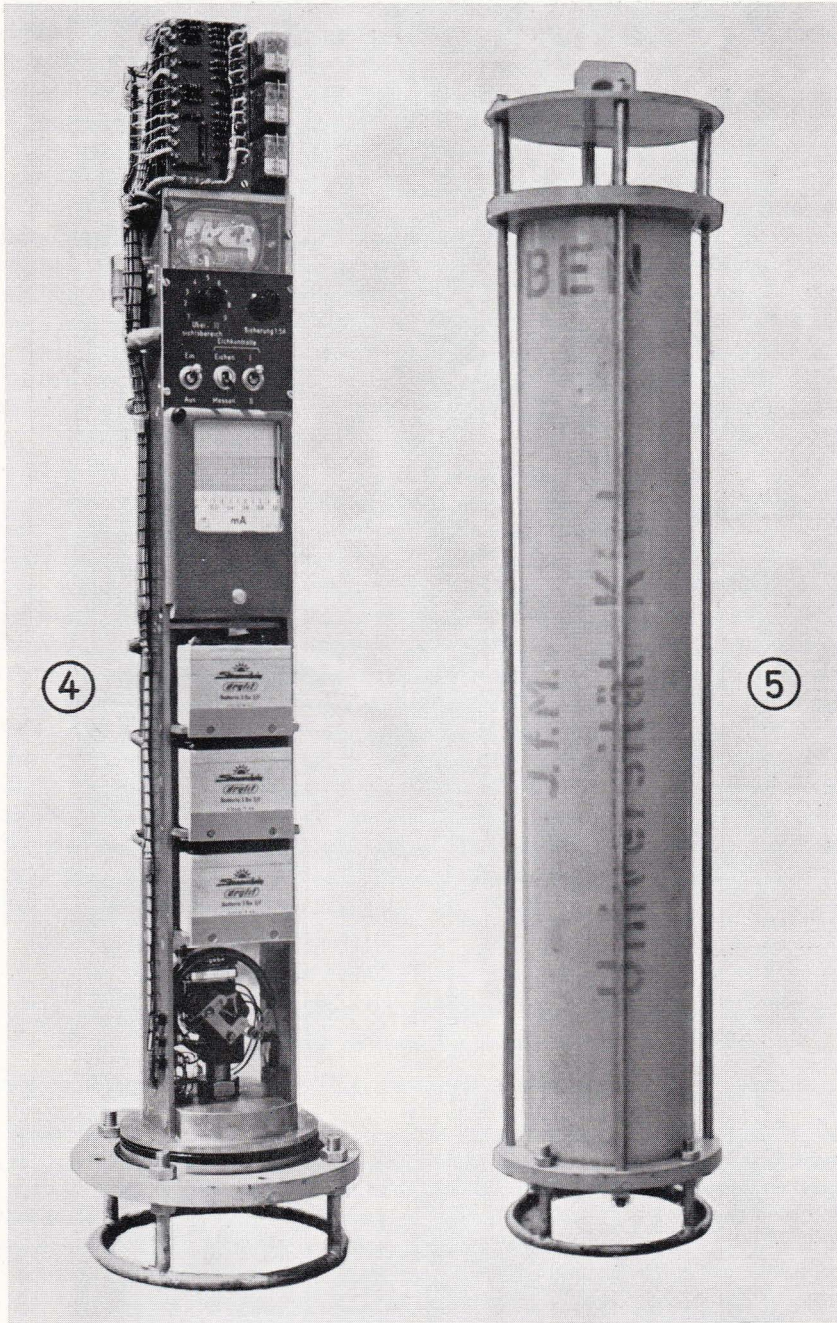


Abb. 4

Abb. 5

Tafel 3 (zu G. Siedler)



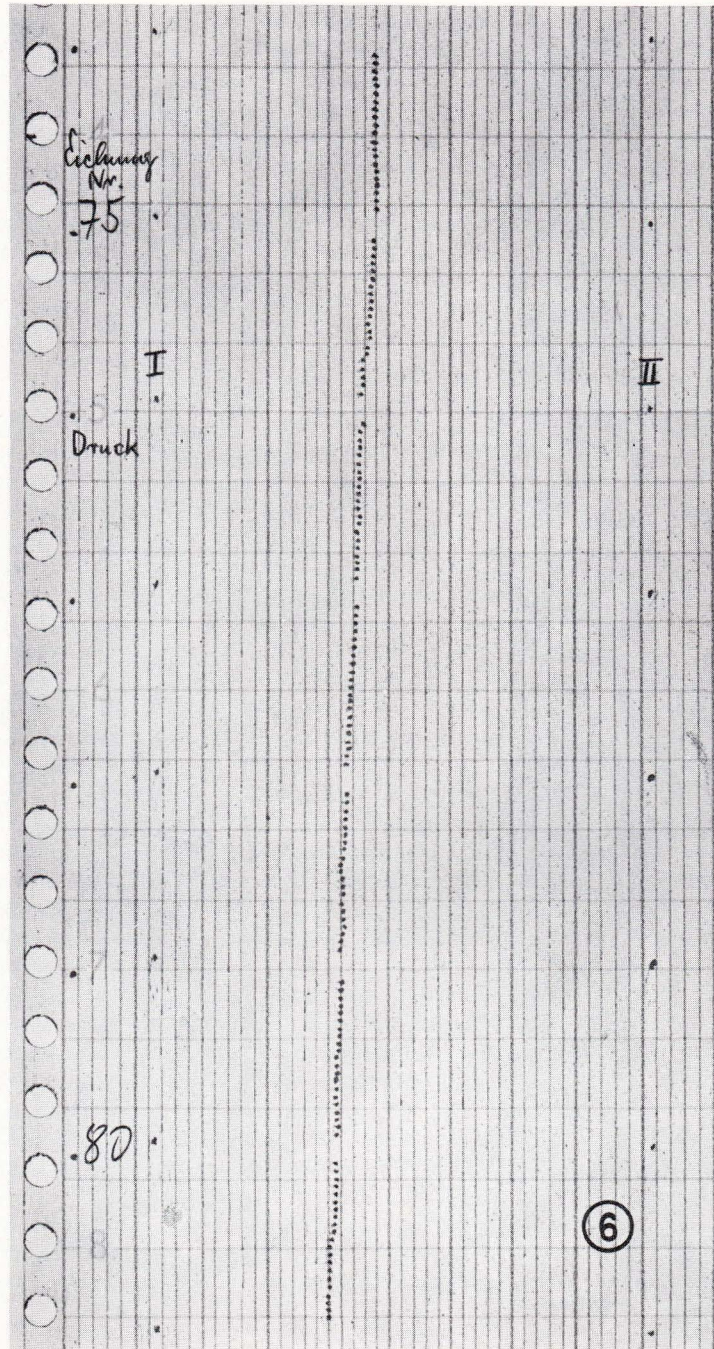


Abb. 6

Tafel 4 (zu G. Siedler)



Eichwiderstände  $R_{E1}$  und  $R_{E2}$  und das Potentiometer  $R_D$  des Druckmessers. Die Brückenquerspannung wird über den links unten dargestellten Differenzverstärker zur Aussteuerung des Galvanometers  $G$  benutzt.

Die Registrierung geht in folgender Weise vor sich: Die Uhr schließt zu einem bestimmten Zeitpunkt den Schalter  $Z_K$  und versorgt damit über das Relais  $A$  den Verstärker mit der Speisespannung von 12 V. Gleichzeitig läuft der Papiertransport-Motor  $M$  für ca. 1 Sekunde. Dann wird der Fallbügel des Schreibers über eine Nocke betätigt, der über dem Schalter  $f_n$  das Relais  $A$  wieder abfallen läßt. Zu einem späteren Zeitpunkt öffnet die Uhr wieder  $Z_K$ . Dieser Vorgang läßt zwanzigmal ab, dann läßt der Nockenkontakt  $N$  über das Relais  $B$  den Eichzyklus beginnen. Nacheinander werden über die Zählschaltung rechts unten die beiden Eichwiderstände, das Potentiometer des Druckmessers und schließlich wieder der Thermistor in die Brücke eingeschaltet. Dann fällt das Relais  $A$  wieder ab, und der Zyklus ist wie oben beendet. Man erhält also in den durch die Uhr bestimmten Zeitintervallen (bei dem bisher eingesetzten Gerät alle 5 Minuten) je einen Punkt auf der Wachspapierrolle des Schreibers, der der Temperatur entspricht, und nach 21 Punkten die Punkte für Eichung bei ca. 10 und 90% des Vollausschlages und den Punkt für den Druck.

Als Thermistor wurde ein während 1000 Stunden bei 105° C gealterter Zwerg-NTC-Widerstand mit einem Widerstand von etwa 1 k $\Omega$  bei 25° C verwendet. Die Abweichungen durch weitere Alterung liegen dann bei maximal 0,1%. Die durch den Meßstrom im Thermistor erzeugte Leistung beträgt im ungünstigsten Fall wegen der sehr kleinen Einschaltdauer weniger als 0,3% der Erwärmungskonstante des Thermistors, ist also vernachlässigbar. Es wurden aus einer größeren Zahl von Thermistoren Paare mit sehr ähnlichen Kennlinien ausgesucht, um bei Ausfall des Meßelements ein Reservethermometer zur Verfügung zu haben, das mit nur geringfügiger Korrektur der Eichung eingesetzt werden kann. Der Thermistor wurde in ein einschraubbares, mit O-Ring und elektrischer Steckverbindung versehenes kleines Gehäuse eingebaut. Es ist wünschenswert, daß das Thermometer einerseits keine Fehler durch eine zu große thermische Zeitkonstante verursacht, andererseits aber so träge ist, daß Schwankungen der Temperatur, deren Perioden klein gegen das Meßintervall sind, durch Mittelung wenig Einfluß haben. Näherungsweise läßt sich das Verhalten des verwendeten Thermometers darstellen durch:

$$\Delta T_t = \Delta T_0 \cdot e^{-\frac{a}{C} t}$$

( $\Delta T_0$  = Temperaturdifferenz zwischen Thermometer und Umgebung zum Zeitpunkt 0,  $\Delta T_t$  = Temperaturdifferenz zum Zeitpunkt  $t$ ,  $a$  = Temperaturleitfähigkeit,  $C$  = Wärmekapazität des Thermometers). Die Zeitkonstante  $\frac{C}{a}$  sollte nach den oben genannten Forderungen so gewählt sein, daß eine richtige Einstellung im Rahmen der Meßgenauigkeit gerade nach einer Zeit erreicht wird, die dem Meßintervall entspricht. Nimmt man zur Abschätzung als Extremfall eine Änderung der Temperatur zwischen zwei Messungen (Meßintervall 300 Sekunden) um 1° C an, so wird bei einer maximal zulässigen Abweichung der Anzeige von 0,1° C die Zeitkonstante:

$$\frac{C}{a} = \frac{300}{\ln 10} \approx 130 \text{ sec.}$$

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 4)

Abb. 6. Ausschnitt aus einer Registrierung

Abb. 7 zeigt einige Thermometergehäuseformen. Die Zeitkonstante läßt sich durch unterschiedliche Bauweise der Gehäuse dem jeweils gewünschten Meßintervall anpassen.

Die Abb. 3, 4 und 5 zeigen das gesamte Gerät in einem Gehäuse für eine Maximaltiefe von 1500 m. Das Meßintervall läßt sich durch einfaches Umsetzen einer Nockenscheibe im Uhrehäusle verändern; der Anzeigebereich des Tiefenmessers ist durch Austausch des Bourdonmanometers veränderbar.

### Die Eichung und die Tests im Laboratorium

Während längerer Zeit wurden Messungen im Labor durchgeführt, die neben der Prüfung der Funktion und der Betriebssicherheit eine Antwort auf die Frage geben sollten, wie weit die Schwankungen durch Temperatur- und Batteriespannungsänderungen die Messungen beeinflussen. Zu diesem Zweck wurde der Thermistor durch einen Festwiderstand ersetzt und das Meßgerät den Temperaturen ausgesetzt, die im Extremfall bei der Verankerung zu erwarten sind. Bei verschiedenen Festwiderständen wurden für die Umgebungstemperatur von 0° C und 30° C Änderungen der Anzeige relativ zu den Eichpunkten gefunden, die einem Temperaturfehler von maximal 0,03° C entsprechen. Im allgemeinen aber waren die Abweichungen kleiner als Schwankungen durch Fehler in der Schreiberanzeige. Änderungen der Versorgungsspannung des Verstärkers bis zu —20% ergeben eine Verminderung des Verstärkungsfaktors um 3%, wirken sich aber infolge einer Linearität der Verstärkerkennlinie von  $\pm 1\%$  bei Berücksichtigung der Eichpunkte im Rahmen der Ablesegenauigkeit nicht aus. Die Temperaturabhängigkeit der Ausgangsspannung des Verstärkers beträgt 0,25%/° C, die Eichpunkte liegen also sicher innerhalb des Skalenbereichs. Da es sich bei allen diesen Angaben um Extremwerte handelt, die wegen der geringen Schwankungen der Außentemperatur im Meere nicht voll erreicht werden, erfolgt die Anzeige im Unterbereich mit einem im wesentlichen durch den Schreiber bestimmten mittleren Fehler von  $\pm 0,1^\circ \text{C}$ .

Begnügt man sich mit einer absoluten Genauigkeit von  $\pm 0,2^\circ \text{C}$ , so kann die Eichung sehr einfach in der Weise durchgeführt werden, daß die Kennlinien  $R = f(T)$  der verwendeten Thermistoren durch Vergleich mit einem einstellbaren Meßwiderstand für einige Punkte bestimmt werden. Die Kennlinie des auslegbaren Thermographen erhält man dann durch Registrierung mit danach bestimmten und eingestellten Festwiderständen bei einer Umgebungstemperatur des Thermographen von ca. 10—20° C.

Betriebsdauerabschätzungen anhand von Strommessungen im Betrieb ergeben für das gewählte Meßintervall von 5 Minuten eine Zeit von 50 Tagen. Durch Wahl anderer Nockenschalter der Uhr lassen sich bei größeren Meßintervallen entsprechend längere Registrierzeiten erreichen.

### Die Erprobungsmessungen auf See

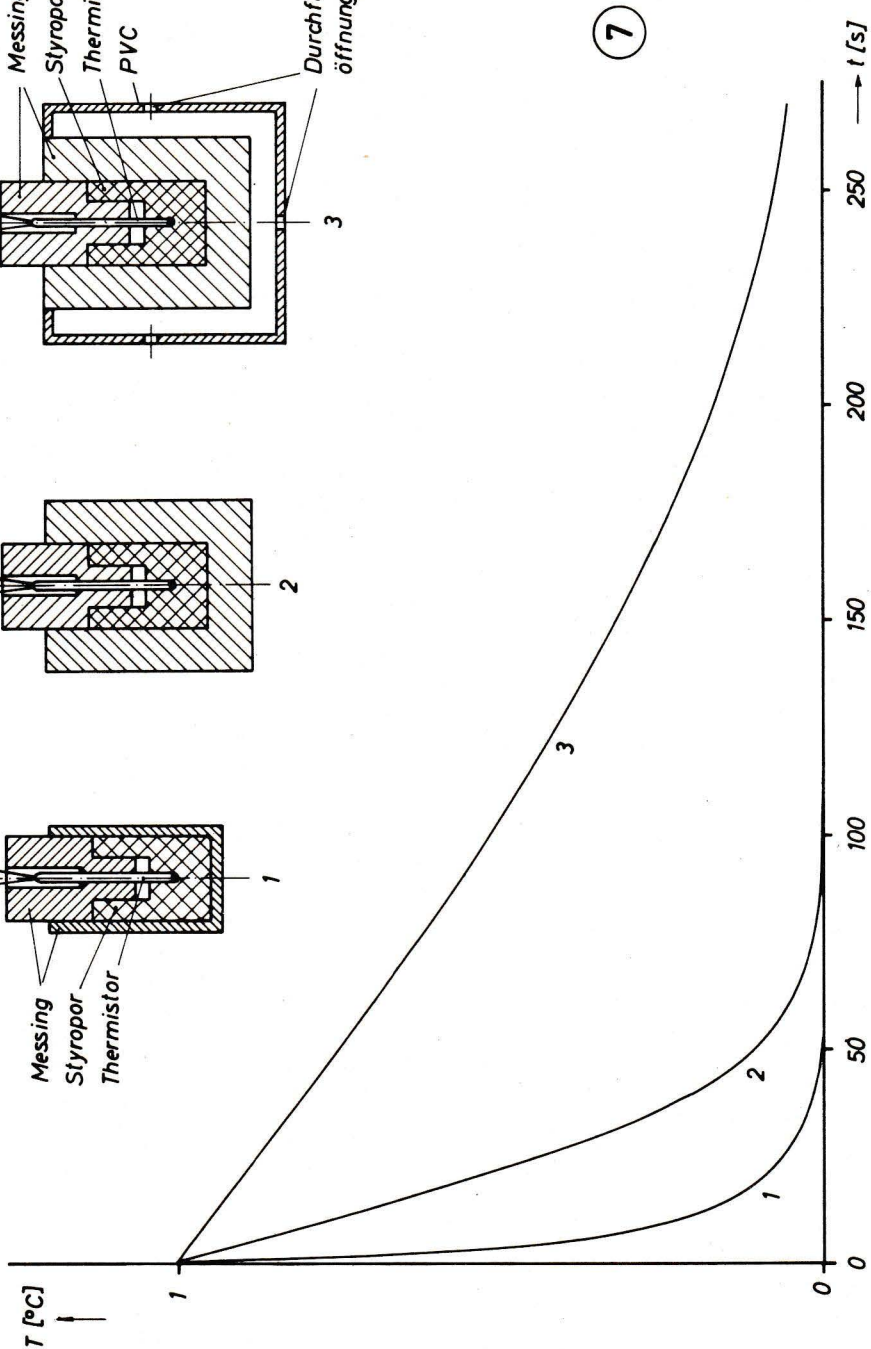
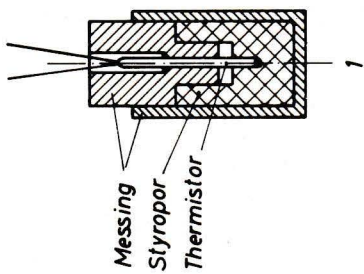
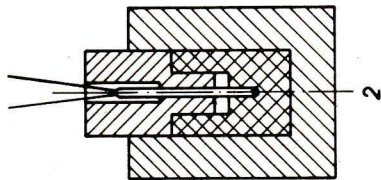
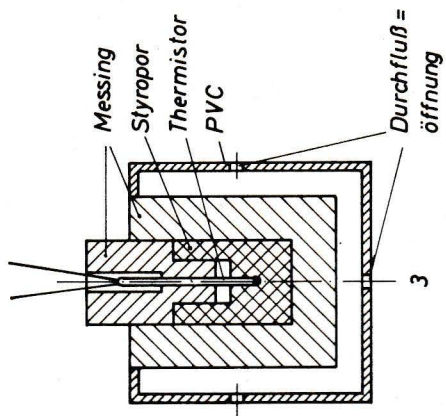
In der Zeit vom 29. 6. — 8. 7. 1964 wurden Messungen der Temperaturschwankungen in der Ostsee vorgenommen. Sie dienten der Prüfung der Funktion des Gerätes unter Bedingungen, die denen bei einer Tiefseeverankerung ähnlich sind, soweit es die Bewegungen des Meßgerätes im Wasser betrifft. Das Meßgerät wurde vom Feuerschiff Kiel aus in 5 m Tiefe ausgehängt. Die Registrierung zeigte Temperaturschwankungen im Tagesgang von mehreren Zehntel °C und eine Temperaturabnahme infolge der ab-

---

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 5)

Abb. 7. Zeitkonstanten der Thermometer





Tafel 5 (zu G. Siedler)

landigen Winde während der zweiten Hälfte der Beobachtungszeit von mehr als 1° C (Abb. 6).

Der Verfasser dankt der Wasser- und Schifffahrtsdirektion Kiel für die freundliche Unterstützung bei den Messungen auf dem Feuerschiff Kiel.

#### Literaturverzeichnis

FARLOW, J. S. (1964): A Great Lakes unmanned weather buoy and current meter mooring system. Transactions of the 1964 Buoy Technology Symposium, Marine Technology Society, March 1964, Washington, D.C. 473—482. — GAUNT, D. I. (1963): Report about an instrument recording temperature near the bottom. Meeting of Experts of Anchored Oceanographic Buoys, Kiel, June 1963 (unpublished). — GEISSLER, M. (1941): Die deutschen Hochseepegel. Archiv der Deutschen Seewarte, 61, (1), 1—88. — WEIDEMANN, H. (1963): Photographic bottom temperature recorder for depths of several hundred meters. Meeting of Experts of Anchored Oceanographic Buoys, Kiel, June 1963 (unpublished).